**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:** 103 31 585.3**Anmeldetag:** 08. Juli 2003**Anmelder/Inhaber:**Continental Teves AG & Co oHG,  
60488 Frankfurt/DE;  
Continental Aktiengesellschaft,  
30165 Hannover/DEErstanmelder: Continental AG, 30419 Hannover/DE**Bezeichnung:**Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks  
eines Fahrzeugreifens**IPC:**

B 60 C, G 01 H, G 01 L

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**München, den 08. Oktober 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt****Der Präsident**  
Im Auftrag

Schmidt C.

**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**GRAMM, LINS & PARTNER**  
**Patent- und Rechtsanwaltssozietät**  
Gesellschaft bürgerlichen Rechts

GRAMM, LINS & PARTNER GbR, Theodor-Heuss-Str. 1, D-38122 Braunschweig

Continental AG  
Jädekamp 30

30419 Hannover

Unser Zeichen/Our ref.:  
0995-074 DE-1

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks; insbesondere des Minderdrucks  
des Fahrzeugreifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb durch Analyse  
des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem ermittelten  
Schwingungsspektrum die Amplitudenmaxima der Resonanzfrequenz be-  
obachtet werden, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit ei-  
nem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Ermitteln und Speichern der Gradienten  $\alpha_{1\text{soll}}$ ,  $\alpha_{2\text{soll}}$  der  
Frequenzkurve oberhalb und unterhalb der Resonanz,
- c) Bilden des Verhältnisses  $\alpha_{\text{soll}}$  aus den Gradienten  $\alpha_{1\text{soll}}$  und  
 $\alpha_{2\text{soll}}$

**Braunschweig:**

Patentanwalt Prof. Dipl.-Ing. Werner Gramm \*  
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. jur. Edgar Lins \*  
Rechtsanwalt Hanns-Peter Schrammek <sup>II</sup>  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Thorsten Rehmann \*  
Rechtsanwalt Christian S. Drzymalla <sup>II</sup>  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Hans Joachim Gerstein \*  
Rechtsanwalt Dr. Stefan Risthaus  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Kai Stornebel \*  
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. Joachim Hartung \*

**Hannover:**

Patentanwältin Dipl.-Chem. Dr. Martina Läufer \*

\* European Patent Attorney  
° European Trademark Attorney  
II zugelassen beim LG u. OLG Braunschweig

Datum/Date  
8. Juli 2003

Antwort bitte nach / please reply to:

**Hannover:**

Freundallee 13  
D-30173 Hannover  
Bundesrepublik Deutschland  
Telefon 0511 / 988 75 07  
Telefax 0511 / 988 75 09

**Braunschweig:**

Theodor-Heuss-Straße 1  
D-38122 Braunschweig  
Bundesrepublik Deutschland  
Telefon 0531 / 28 14 0 - 0  
Telefax 0531 / 28 14 0 - 20

- 5
- d) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
  - e) kontinuierliches Ermitteln der Gradienten  $\alpha_{1st}$ ,  $\alpha_{2ist}$  der Frequenzkurve oberhalb und unterhalb der Resonanz,
  - f) Bilden des Verhältnisses  $\alpha_{ist}$  aus den Gradienten  $\alpha_{1st}$  und  $\alpha_{2ist}$ ,
  - g) kontinuierliches Vergleichen der Verhältnisse  $\alpha_{ist}$  und  $\alpha_{soll}$  miteinander,
  - h) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $\alpha_{ist}$  zu  $\alpha_{soll}$  einen definierten Wert überschreitet.

15 2. Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks, insbesondere des Minderdrucks des Fahrzeugreifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb durch Analyse des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem ermittelten Schwingungsspektrum die Amplitudenmaxima der Resonanzfrequenz beobachtet werden, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- 20
- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
  - b) Ermitteln der xdB-, insbesondere 3 dB-Grenzfrequenz  $f_{G1\ soll}$ ,  $f_{G2\ soll}$  der Maxima,
  - c) Bilden und Speichern der Differenzfrequenz  $\Delta f_{G\ soll}$  aus der oberen xdB-Grenzfrequenz  $f_{G2\ soll}$  und der unteren xdB-Grenzfrequenz  $f_{G1\ soll}$ ,
  - d) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
- 25
- 30

- e) kontinuierliches Ermitteln der xdB-, insbesondere 3dB-Grenzfrequenzen  $f_{G1 \text{ ist}}$ ,  $f_{G2 \text{ ist}}$  der Maxima im Fahrbetrieb,
- 5 f) Bilden der Differenzfrequenz  $\Delta f_{G1 \text{ ist}}$  aus der oberen xdB-Grenzfrequenz  $f_{G2 \text{ ist}}$  und der unteren xdB-Grenzfrequenz  $f_{G1 \text{ ist}}$ ,
- g) kontinuierliches Vergleichen der Differenzfrequenzen  $\Delta f_{G \text{ soll}}$  und  $\Delta f_{G \text{ ist}}$  miteinander,
- h) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $\Delta f_{G \text{ ist}}$  zu  $f_{G \text{ soll}}$  einen definierten Wert überschreitet.

3. Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks, insbesondere des Minderdrucks  
 15 des Fahrzeugreifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb durch Analyse des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem ermittelten Schwingungsspektrum die Amplitudenmaxima der Resonanzfrequenz beobachtet werden, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- 20 a) Ermittlung und Aufzeichnung der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Ermitteln und Speichern des maximalen Amplitudenwertes  $a_{\text{soll}}$  bei Soll-Druck des Reifens,
- 25 c) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
- d) kontinuierliches Ermitteln des maximalen Amplitudenwertes  $a_{\text{ist}}$ ,

- e) kontinuierliches Vergleichen der maximalen Amplitudenwerte  $a_{\text{soll}}$  und  $a_{\text{lst}}$  miteinander,
- f) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $a_{\text{lst}}$  zu  $a_{\text{soll}}$  einen definierten Wert überschreitet.

4. Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks, insbesondere des Minderdrucks des Fahrzeugreifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb durch Analyse des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem ermittelten Schwingungsspektrum die Resonanzfrequenz beobachtet wird, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Transformieren der das Schwingungsverhalten des Rades beschreibenden Differentialgleichungen

$$\begin{aligned} J_F \ddot{\phi} &= (\phi - \varphi) c_s + (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s \\ J_R \ddot{\phi} &= -(\phi - \varphi) c_s - (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s + F_t r \end{aligned}$$

mittels Fouriertransformation,

- c) Auswählen eines Bereichs  $\Delta f_{\text{soll}}$  aus der Resonanzfrequenz  $f_{\text{soll}}$ ,
- d) Korrelieren des ausgewählten Bereichs  $\Delta f_{\text{soll}}$  mit den transformierten Differentialgleichungen,

- e) Berechnen des Reifeninnendrucks  $P_{\text{soll}}$  aus der Rotationssteifigkeit  $c_s$  und der Rotationsdämpfung  $d_s$ ,
- f) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$  des Rades im Fahrbetrieb,
- g) Auswählen eines Bereichs  $\Delta f_{\text{ist}}$  aus der Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$ ,
- h) Korrelieren des ausgewählten Bereichs  $\Delta f_{\text{ist}}$  der ermittelten Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$  mit den transformierten Differentialgleichungen zur Bestimmung der Rotationssteifigkeit  $c_{s \text{ ist}}$  und der Rotationsdämpfung  $d_{s \text{ ist}}$ ,
- i) Errechnen des Reifeninnendrucks  $p_{\text{ist}}$  aus der Rotationssteifigkeit  $c_{s \text{ ist}}$  und der Rotationsdämpfung  $d_{s \text{ ist}}$ ,
- j) Bilden der Differenz von  $p_{\text{soll}}$  und  $p_{\text{ist}}$  und Erzeugen eines Signals, wenn die Differenz einen definierten Wert überschreitet.

20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Signal erst erzeugt wird, wenn die Abweichung den definierten Wert über einen festgelegten Zeitraum überschreitet.

25 6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gradienten  $\alpha_{1 \text{ soll}}$ ,  $\alpha_{2 \text{ soll}}$  unterhalb und oberhalb der Resonanz bei Soll-Druck für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert werden.

30 7. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die xdB-Grenzfrequenzen  $f_{G1 \text{ soll}}$ ,  $f_{G2 \text{ soll}}$  der Maxima bei Soll-Druck für einen speziellen

Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert werden.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der maximale Amplitudenwert  $a_{\text{soll}}$  bei Soll-Druck für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Korrelation der transformierten Differentialgleichungen mit der transformierten Eigenfrequenzkurve  $f_{\text{soll}}$  zur Ermittlung des Reifeninnendruckes  $p_{\text{soll}}$  für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert wird.
- 15 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 – 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Speichermedium ein Transponder ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 – 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Speichermedium ein Barcode ist.
- 20 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Auswertung der Frequenzkurve im Fahrbetrieb durch die Last, die Temperatur, die Feuchtigkeit, den Umgebungsluftdruck und/oder die Fahrzeugbeschleunigung hervorgerufene Fremdeinflüsse kompensiert werden.
- 25 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Auswertung der Frequenzkurve im Fahrbetrieb die Profiltiefe des Reifens berücksichtigt wird.
- 30 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit Hilfe eines Initialisierungsmittels am fahrenden Kraftfahrzeug eine von

der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit abhängige Kalibrierung durchgeführt wird.

5. 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umrechnung vom Zeitbereich in den Frequenzbereich über Tabellen erfolgt.
16. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass über die Lage der maximalen Amplitudenwerte  $a_{\text{ist}}$  die Reifendimension erkannt wird.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Kopplung mit einem indirekten System zur Erkennung des Mindestluftdrucks.



**GRAMM, LINS & PARTNER**  
**Patent- und Rechtsanwaltssozietät**  
Gesellschaft bürgerlichen Rechts

GRAMM, LINS & PARTNER GbR, Theodor-Heuss-Str. 1, D-38122 Braunschweig

Continental AG  
Jädekamp 30

30419 Hannover

**Braunschweig:**

Patentanwalt Prof. Dipl.-Ing. Werner Gramm \*°  
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. jur. Edgar Lins \*°  
Rechtsanwalt Hanns-Peter Schrammek °  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Thorsten Rehmann \*°  
Rechtsanwalt Christian S. Drzymalla °  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Hans Joachim Gerstein \*°  
Rechtsanwalt Dr. Stefan Risthaus  
Patentanwalt Dipl.-Ing. Kai Stornebel °  
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. Joachim Hartung °

**Hannover:**

Patentanwältin Dipl.-Chem. Dr. Martina Läufer \*°

\* European Patent Attorney  
° European Trademark Attorney  
° zugelassen beim LG u. OLG Braunschweig

Unser Zeichen/Our ref.:

0995-074 DE-1

**Datum/Date**

8. Juli 2003

**Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks eines Fahrzeugreifens**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks, insbesondere  
5 des Minderdrucks des Reifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb durch Analyse des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem ermittelten Schwingungsspektrum die normierte Amplitude ermittelt wird und die Amplitudenmaxima der Resonanzfrequenz beobachtet werden.

1 In solches Verfahren ist beispielsweise aus der US 6,450,020 B1 bekannt. Die DE 101 57 858 A1 offenbart ein Verfahren zum Bestimmen des Reifenluftdrucks aus dem Fahrzeugbetrieb bei niedrigen und hohen Geschwindigkeiten, das unabhängig von verschiedenen, an dem Fahrzeug angebrachten Elementen bereitgestellt wird. Dieses Verfahren basiert auf einer Resonanzfrequenz, die auf der  
15 Grundlage eines Radgeschwindigkeitssignals extrahiert wurde, das über einen jedem Rad zugeordneten Geschwindigkeitssensor ausgegeben wurde. Die Bestimmung des Reifenluftdrucks basiert außerdem auf einem dynamischen Lastradius, der auf der Grundlage des Radgeschwindigkeitssignals abgeleitet wurde.

Antwort bitte nach / please reply to:

**Hannover:**

Freundallee 13  
D-30173 Hannover  
Bundesrepublik Deutschland  
Telefon 0511 / 988 75 07

**Braunschweig:**

Theodor-Heuss-Straße 1  
D-38122 Braunschweig  
Bundesrepublik Deutschland  
Telefon 0531 / 28 14 0 - 0  
Telefax 0531 / 28 14 0 - 20

Die Stärke und Frequenzlage der beim Abrollen entstehenden Reifenschwingungen sind stark abhängig vom Innendruck des Reifens, der sowohl die Steifigkeit als auch die Dämpfung des Rades bestimmt. Diese Eigenschaften bestimmen auch, mit welcher Intensität und Frequenz die Felge zu Drehschwingungen angeregt wird. Die Drehschwingungen des Rades lassen sich beispielsweise mit einem ABS-Drehzahlsensor messen.

Am deutlichsten treten die Drehschwingungen bei den vom Innendruck abhängigen Resonanzfrequenzen auf.

Für einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb eines Kraftfahrzeuges und zum Erreichen hoher Haltbarkeit müssen die Reifen mit einem vorgegebenen Luftdruck befüllt sein. Aufgrund von Diffusionsverlusten und Dichtungsverlusten im Reifen sinkt der Luftdruck stetig ab. Die entstehenden Leckageraten sind unvermeidlich und liegen typischerweise im Bereich einiger 100mbar pro Jahr. Der Reifenluftdruck muss deshalb regelmäßig kontrolliert werden. Der durchschnittliche Kraftfahrer neigt jedoch dazu, dem Reifendruck keine oder zumindest nicht die angemessene Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. Aus diesem Grund werden Kraftfahrzeuge zunehmend mit Reifendruckkontrollsystemen ausgerüstet, die den Luftdruck im Reifen kontinuierlich überwachen und eine Warnmeldung für den Fahrer abgeben, wenn der Reifendruck unter einen vorgegebenen Mindestdruck absinkt.

Es sind direkt messende Systeme bekannt, bei denen sich im Druckraum des Fahrzeugrades ein Sensor befindet, der den Druck mißt. Das den ermittelten Reifennendruck auslesende Meßsystem wird in der Regel von einer Batterie versorgt und überträgt seine Meßdaten über eine Funkstrecke. Nachteilig an diesem System ist neben der von der Batterielebensdauer abhängigen Funktionsfähigkeit auch die durch den Sensor und die Stromversorgung entstehende Unwucht an der Felge von bis zu 20 g.

Indirekt messende Systeme nutzen die sich einstellende Änderung im Abrollumfang eines Rades bei Luftdruckänderung im Reifen aus. Die Änderung des Abrollumfanges wird über die ABS-Sensoren ermittelt, die alle Räder eines Fahrzeuges gleichzeitig detektieren und entsprechende Daten auswerten. Diese Systeme haben den grundsätzlichen Nachteil, dass ein nahezu identischer Druckverlust in allen Reifen, wie er sich durch die Leckageverluste zwingend einstellt, nicht erkennbar ist.

Die JP 5-133 831 offenbart eine Vorrichtung zum Bestimmen des Innendruckes eines Fahrzeugreifens. In dieser Vorrichtung wird die Resonanzfrequenz des Reifens durch eine Frequenzanalyse ermittelt, die in Bezug auf ein Geschwindigkeitssignal des Rades einschließlich der Schwingungsfrequenz des Reifens durchgeführt wird. Der aktuelle Druck wird aus der ermittelten Resonanzfrequenz bestimmt. Die zur Bestimmung des Luftdrucks verwendete Resonanzfrequenz bewegt sich im Bereich von 30 – 50 Hz. Dieser Bereich ist ausreichend, wenn das Fahrzeug sich im unteren oder mittleren Geschwindigkeitsbereich befindet. Nimmt die Fahrzeuggeschwindigkeit zu, ist das Schwingungsverhalten eines Reifens schwer zu bewerten. Im Ergebnis sinkt das Spektrum der Resonanzfrequenz ab und verschlechtert damit die Aussagekraft in Bezug auf den Reifeninnendruck.

In der JP 8-219 920 ist eine Vorrichtung beschrieben, mit der mehrere Resonanzfrequenzen aus mehreren Frequenzbereichen, beispielsweise einem Bereich von 30 – 50 Hz und einem Bereich von 60 – 90 Hz ermittelt werden.

Dem Verfahren nach der US 6,385,553 liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das Radgeschwindigkeitssignal eines angetriebenen Rades eine Resonanzfrequenz höherer Ordnung enthält, die sich auch dann sehr stark mit der Veränderung des Reifeninnendruckes ändert, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit hoch ist. In dieser Druckschrift wird sehr ausführlich beschrieben, wie das Frequenzspektrum ermittelt und die interessierende Resonanzfrequenz mathematisch beispielsweise

durch eine Fouriertransformation (FFT) ermittelt wird, so dass eine normierte Amplitude über der Frequenz aufgetragen werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren anzugeben, mit denen die  
5 beispielsweise nach der US 6,385,553 ermittelte Resonanzfrequenz ausgewertet werden kann, um zu erkennen, ob der Reifeninnendruck eines beliebigen Rades des Fahrzeuges unter einen vorgegebenen Wert absinkt, um dem Fahrer ein entsprechendes Warnsignal zu geben.

Ein erstes Auswerteverfahren zeichnet sich durch folgende Schritte aus:

- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- 15 b) Ermitteln und Speichern der Gradienten  $\alpha_{1\text{soll}}$ ,  $\alpha_{2\text{soll}}$  der Frequenzkurve oberhalb und unterhalb der Resonanz,
- c) Bilden des Verhältnisses  $\alpha_{\text{soll}}$  aus den Gradienten  $\alpha_{1\text{soll}}$  und  $\alpha_{2\text{soll}}$ ,
- 20 d) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
- e) kontinuierliches Ermitteln der Gradienten  $\alpha_{1\text{ist}}$ ,  $\alpha_{2\text{ist}}$  der Frequenzkurve oberhalb und unterhalb der Resonanz,
- 25 f) Bilden des Verhältnisses  $\alpha_{\text{ist}}$  aus den Gradienten  $\alpha_{1\text{ist}}$  und  $\alpha_{2\text{ist}}$ ,
- g) kontinuierliches Vergleichen der Verhältnisse  $\alpha_{\text{ist}}$  und  $\alpha_{\text{soll}}$  miteinander,

- h) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $\alpha_{\text{Ist}}$  zu  $\alpha_{\text{Soll}}$  einen definierten Wert überschreitet.

Bei der Auswertung der Schwingungscharakteristik wird das Verhältnis der Steigungen links und rechts des Maximums bestimmt. Der Frequenzbereich liegt vorzugsweise zwischen 20 – 60 Hz und 70 – 110 Hz. Das Verhältnis der Steigungen liegt im Bereich von - 0,25 bis - 4.

Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren zeichnet sich durch folgende Schritte aus:

- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Ermitteln der xdB-, insbesondere 3 dB-Grenzfrequenz  $f_{G1 \text{ Soll}}$ ,  $f_{G2 \text{ Soll}}$  der Maxima,
- c) Bilden und Speichern der Differenzfrequenz  $\Delta f_{G \text{ Soll}}$  aus der oberen xdB-Grenzfrequenz  $f_{G2 \text{ Soll}}$  und der unteren xdB-Grenzfrequenz  $f_{G1 \text{ Soll}}$ ,
- d) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
- e) kontinuierliches Ermitteln der xdB-, insbesondere 3dB-Grenzfrequenzen  $f_{G1 \text{ Ist}}$ ,  $f_{G2 \text{ Ist}}$  der Maxima im Fahrbetrieb,
- f) Bilden der Differenzfrequenz  $\Delta f_{G1 \text{ Ist}}$  aus der oberen xdB-Grenzfrequenz  $f_{G2 \text{ Ist}}$  und der unteren xdB-Grenzfrequenz  $f_{G1 \text{ Ist}}$ ,
- g) kontinuierliches Vergleichen der Differenzfrequenzen  $\Delta f_{G \text{ Soll}}$  und  $\Delta f_{G \text{ Ist}}$  miteinander,

- h) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $\Delta f_{G \text{ ist}}$  zu  $f_{G \text{ soll}}$  einen definierten Wert überschreitet.

5 Dieses Verfahren nutzt das Phänomen aus, dass die xdB-Grenzfrequenzen der Maxima mit steigendem Luftdruck in Richtung höherer Frequenzen wandern. Aus der Abhängigkeit kann dann der aktuelle Luftdruck des Reifens bestimmt werden. Auch dieses Verfahren kann für jedes Rad einzeln durchgeführt werden, wobei eine Korrelation der Räder untereinander nicht erforderlich ist.

Ein drittes erfindungsgemäßes Auswerteverfahren zeichnet sich durch folgende Schritte aus:

- 15 a) Ermittlung und Aufzeichnung der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Ermitteln und Speichern des maximalen Amplitudenwertes  $a_{\text{soll}}$  bei Soll-Druck des Reifens,
- 20 c) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz des Rades im Fahrbetrieb,
- d) kontinuierliches Ermitteln des maximalen Amplitudenwertes  $a_{\text{ist}}$ ,
- 25 e) kontinuierliches Vergleichen der maximalen Amplitudenwerte  $a_{\text{soll}}$  und  $a_{\text{ist}}$  miteinander,
- f) Erzeugen eines Signals, wenn die Abweichung von  $a_{\text{ist}}$  zu  $a_{\text{soll}}$  einen definierten Wert überschreitet.

Auch bei diesem Verfahren wird die normierte Amplitude zur Bestimmung des Luftdrucks verwendet.

Ein viertes gattungsgemäßes Verfahren zeichnet sich durch folgende erfindungsgemäße Schritte aus:

- a) Ermitteln und Aufzeichnen der Resonanzfrequenz des Rades mit einem vorgegebenen Soll-Druck,
- b) Transformieren der das Schwingungsverhalten des Rades beschreibenden Differentialgleichungen

$$\begin{aligned} J_F \ddot{\phi} &= (\phi - \varphi) c_s + (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s \\ J_R \ddot{\phi} &= -(\phi - \varphi) c_s - (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s + F_t r \end{aligned}$$

15 mittels Fouriertransformation,

- c) Auswählen eines Bereichs  $\Delta f_{\text{soll}}$  aus der Resonanzfrequenz  $f_{\text{soll}}$ ,
- d) Korrelieren des ausgewählten Bereichs  $\Delta f_{\text{soll}}$  mit den transformierten Differentialgleichungen,
- e) Berechnen des Reifeninnendrucks  $P_{\text{soll}}$  aus der Rotationssteifigkeit  $c_s$  und der Rotationsdämpfung  $d_s$ ,

20

- f) kontinuierliches Ermitteln der Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$  des Rades im Fahrbetrieb,
- g) Auswählen eines Bereichs  $\Delta f_{\text{ist}}$  aus der Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$ ,

25

- h) Korrelieren des ausgewählten Bereichs  $\Delta f_{\text{ist}}$  der ermittelten Resonanzfrequenz  $f_{\text{ist}}$  mit den transformierten Differentialgleichungen zur Bestimmung der Rotationssteifigkeit  $c_{s \text{ ist}}$  und der Rotationsdämpfung  $d_{s \text{ ist}}$ .
- i) Errechnen des Reifeninnendruckes  $p_{\text{ist}}$  aus der Rotationssteifigkeit  $c_{s \text{ ist}}$  und der Rotationsdämpfung  $d_{s \text{ ist}}$ .
- j) Bilden der Differenz von  $p_{\text{soll}}$  und  $p_{\text{ist}}$  und Erzeugen eines Signals, wenn die Differenz einen definierten Wert überschreitet.

Mit diesem Verfahren werden aus den Signalen der Raddrehzahlgeber Informationen herausgefiltert, die in dem System Reifen-Radaufhängung generiert werden. Die Informationen, die ausgewertet werden, beziehen sich auf die Rotations-schwingung des Reifens. Vorzugsweise wird der Bereich von 20 – 60 Hz aus der Resonanzfrequenz ausgewählt.

Bei allen drei Signalen wird das Verfahren vorzugsweise erst erzeugt, wenn die Abweichung den definierten Wert über einen festgelegten Zeitraum, beispielsweise eine Minute, unterschreitet.

Die Gradienten  $\alpha_{1 \text{ soll}}$  und  $\alpha_{2 \text{ soll}}$  unterhalb und oberhalb der Resonanz bei Soll-Druck werden vorzugsweise für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert.

Vorzugsweise werden auch die xdB-, insbesondere 3dB-Grenzfrequenzen  $f_{G1 \text{ soll}}$ ,  $f_{G2 \text{ soll}}$  der Maxima für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert.



Auch die maximalen Amplitudenwerte  $a_{\text{soll}}$  bei Soll-Druck werden vorzugsweise für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert.

- 5 Die erste Korrelation der transformierten Differentialgleichungen mit der transformierten Eigenfrequenzkurve zur Ermittlung des Reifeninnendrucks  $p_{\text{soll}}$  wird vorzugsweise für einen speziellen Reifentyp extern ermittelt und auf einem mit dem Reifen verbindbaren Speichermedium gespeichert.

Das Speichermedium kann ein Transponder oder ein Barcode sein. Die Verwendung eines Speichermediums hat den Vorteil, dass die reifentypischen Charakteristika vom Reifenhersteller ermittelt werden können und bei einem Radwechsel etwa veränderte Daten einfach dem Fahrzeug zugeordnet werden können.

- 15 Über die Lage der maximalen Amplitudenwerte kann die Reifendimension erkannt werden. Dabei wird die Erkenntnis ausgenutzt, dass die Seitenwand eines Reifens für große Felgendurchmesser in der Regel niedriger ist als für Reifen mit kleinen Durchmessern. Je niedriger die Seitenwand ist, um so höher ist die Eigenfrequenz.

- 20 Vorzugsweise wird mit Hilfe eines Initialisierungsmittels am fahrenden Kraftfahrzeug eine von der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit abhängige Kalibrierung durchgeführt.

- 25 Zur Ermittlung der normierten Amplitude erfolgt die Umrechnung vom Zeitbereich in den Frequenzbereich vorzugsweise über Tabellen.

Bei der Auswertung der Frequenzkurve im Fahrbetrieb können durch die Last, die Temperatur, die Feuchtigkeit, den Umgebungsluftdruck und/oder die Fahrzeugbeschleunigung hervorgerufene Fremdeinflüsse kompensiert werden. Hierzu müssen natürlich entsprechende Sensoren vorgesehen sein.

- 30

Wenn entsprechende Sensoren vorgesehen sind, kann bei der Auswertung der Frequenzkurve im Fahrbetrieb auch die Profiltiefe, deren Veränderung durch den Verschleiß eine Veränderung der Resonanzfrequenz bewirkt, berücksichtigt werden.

Die vorstehend beschriebenen Verfahren können mit einem indirekten System zur Erkennung des Minderluftdrucks gekoppelt werden.

Die nachfolgenden Zeichnungen verdeutlichen die unterschiedlichen Auswerteverfahren.

Es zeigt:

5

Figur 1 die Prinzipdarstellung der normierten Amplitude (logarithmisch aufgetragen) über der Frequenz;

Figur 2 Die Prinzipdarstellung der sich mit sinkendem Luftdruck verändernden Gradienten  $\alpha$  ;

Figur 3 eine Darstellung der 3dB-Grenzfrequenzen an unterschiedlichen Maxima der Amplitude;

15 Figur 4 die Prinzipdarstellung des steigenden Amplitudenmaximums bei sinkendem Reifeninnendruck;

Figur 5 die prinzipielle Abhängigkeit der normierten Amplitude vom Reifenluftdruck;

20

Figur 6 das Modell zur Beschreibung der Radschwingungen;

Figur 7 die überlagerten Frequenzkurven nach dem Modell und den Werten aus den Raddrehzahlgebern.

25

Das Eigenschwingverhalten eines Reifens kann aus den Signalen der Raddrehzahlgeber, wie sie in Antiblockiersystemen verwendet werden, ermittelt werden. Hier zeigt die Darstellung nach Figur 1 die Abhängigkeit der logarithmisch aufgetragenen normierten Amplitude über der Frequenz. Die Ermittlung dieser Kurve ist in der US 6,385,553 oder in der DE 101 57 885 sehr ausführlich  
30 erläutert, so dass hierzu keine weiteren Ausführungen gemacht werden.

Mit fallendem Reifeninnendruck bewirken die vom Druck abhängigen Größen-  
 dämpfung und Steifigkeit des Reifens eine relative Verstärkung der Anregung der  
 Felge bei Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz und eine Verminderung bei  
 5 Frequenzen oberhalb der Resonanzfrequenz. Die Gradienten  $\alpha$  der Verstärkung  
 unter- und oberhalb der Resonanz lassen sich nach Auswertung der Raddrehzahl-  
 signale (beispielsweise über Fouriertransformationen über ganzzahlige Anzahlen  
 von Umdrehungen bei annähernd gleicher Geschwindigkeit) ermitteln und über  
 einen Vergleich mit dem zuvor kalibrierten Soll-Zustand des Reifens bei Soll-  
 Innendruck als Maß für einen möglichen Minderluftdruck verwenden. Die Gra-  
 10 dienten  $\alpha_{\text{Ist}}$  und  $\alpha_{\text{Soll}}$  werden zueinander ins Verhältnis gesetzt. Liegt dieser Wert  
 über einen definierten Zeitraum außerhalb gesetzter Toleranzwerte, erfolgt eine  
 Warnung vor zu niedrigem Reifendruck.

15 Bei der Ermittlung der Resonanzfrequenz muss ein repräsentatives Amplituden-  
 spektrum verwendet werden. Hierzu sind stationäre Fahrbedingungen festzustel-  
 len. Auch muss eine adäquate Auflösung der Frequenz sichergestellt sein. Eine  
 hohe Anzahl von Mittlungen der ermittelten Werte geben eine gute Schätzung  
 des Luftdrucks, berücksichtigen die Gewichtung von Straßenverhältnissen  
 20 (schlecht Oberfläche, ebene Oberfläche) und lassen eine Normierung der  
 Schwingungsidentität zu.

Figur 3 zeigt die 3dB-Grenzfrequenzen, die vom Amplitudenmaximum aus ermit-  
 telt werden. Aus der Differenz der oberen Grenzfrequenz  $f_{G2}$  und der unteren  
 25 Grenzfrequenz  $f_{G1}$  wird die Differenzfrequenz  $\Delta f_G$  ermittelt. Bei sinkendem Luft-  
 druck verkleinert sich die Differenzfrequenz, da die normierte Amplitude steigt,  
 was zu einer Stauchung der Frequenzkurve führt (vgl. Figur 2). Je kleiner die Dif-  
 ferenzfrequenz wird, um so niedriger ist der Luftdruck. Sinkt die Differenzfre-  
 quenz unter einen vorgegebenen Wert für eine definierte Zeitspanne, wird ein  
 30 Signal erzeugt, das den Minderluftdruck anzeigt.

Figur 4 ist entnehmbar, dass sich die Amplitude in Richtung niedriger Frequenzen verlagert, wenn der Reifeninnendruck sinkt. Gleichzeitig erhöht sich der Maximalwert der Amplitude. Das Maximum wird ermittelt und mit dem Soll-Wert verglichen. Steigt der aktuell ermittelte Maximalwert über einen vorgegebenen Wert, wird das den Minderdruck anzeigende Signal erzeugt.

Die Lage der Grenzfrequenzen  $f_{G1}$ ,  $f_{G2}$ , die Größe der Gradienten  $\alpha_{soll}$ ,  $\alpha_{ist}$  und der Wert der maximalen Amplituden  $a_{soll}$ ,  $a_{ist}$ , ist neben dem Luftdruck von einer Vielzahl weiterer Parameter, wie beispielsweise dem Reifentyp und dem Abriebzustand abhängig. Das mit den vorgeschlagenen Verfahren arbeitende Reifendruckkontrollsystem muss deshalb kalibriert werden. Dabei wird ein Satz von Kalibrierungsparametern aufgenommen. Zum Auslösen der Initialisierung ist ein Initialisierungsmittel zu betätigen. Damit wird dem System dann mitgeteilt, dass alle Reifen korrekt befüllt sind. Vorzugsweise werden für unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche eigene Kalibrierungsdatensätze aufgenommen. Immer wenn nach dem Betätigen des Initialisierungsmittels ein Geschwindigkeitsbereich das erste Mal gefahren wird, wird für diesen Bereich der Satz der Kalibrierparameter ermittelt.

Fremdeinflüsse, die die Lage der vorstehenden Werte beeinflussen, können kompensiert werden, wenn im Fahrzeug geeignete Messwerte zur Verfügung stehen. Diese können durch entsprechende Sensoren bestimmt werden. Aus dem Niveau-regulierungssystem kann die Radlast bestimmt werden. Durch den Außentempertursensor, gegebenenfalls in Verbindung mit einem Temperaturmodell für Reifen, kann die Temperatur berücksichtigt werden. Beschleunigungen und Verzögerungen des Fahrzeugs können über die ABS-Sensoren oder den Bremslichtschalter ermittelt werden. Aus der Motorsteuerung kann der Umgebungsluftdruck berücksichtigt werden. Die Profiltiefe kann durch Ermittlung des Abrollumfangs (zurückgelegte Wegstrecke/Raddrehzahl) ermittelt werden.

Figur 6 zeigt das Modell zur Ermittlung der Reifenschwingungen. Das Rad besteht aus der Felge 1 mit der Trägheit  $J_F$  und dem Gürtel 2 mit der Trägheit  $J_R$ . Das Rad ist über die Radaufhängung mit der Federung 4 und der Dämpfung 5 mit dem Aufbau 3 verbunden. Die Dämpfung der Drehschwingungen des Rades erfolgt über die Rotationsfeder-Dämpfereinheit 6, mit der Federkonstanten  $c_s$  und der Dämpferkonstanten  $d_s$ . Die Aufbaufeder 4 weist die Federkonstante  $c_a$  und der Aufbaudämpfer 5 die Dämpferkonstante  $d_a$  auf. Der Gürtel 1 wird mit der Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\phi}$  und die Felge 1 mit der Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varphi}$  bewegt. Die Anregung zur Schwingung erhält das Rad über die Straße mit der Frequenz  $F_r$ .

Die Rotationen von Reifen 1 und Felge 2 werden durch folgende Differentialgleichungen beschrieben:

$$\begin{aligned} J_F \ddot{\varphi} &= (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) c_s + (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s \\ J_R \ddot{\phi} &= -(\dot{\phi} - \dot{\varphi}) c_s - (\dot{\phi} - \dot{\varphi}) d_s + F_r r \end{aligned}$$

Die Rotationssteifigkeit  $c_s$  und die Rotationsdämpfung  $d_s$  sind unter anderem sowohl vom Luftdruck  $p$ , dem Radaufhängungstyp als auch der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Die Signale der Raddrehzahlgeber werden einer Fouriertransformation unterworfen. Ein ausgewählter Frequenzbereich wird beispielsweise mit den Ergebnissen der Modellgleichungen korreliert. Durch Korrelation zwischen gemessener und modellierter Schwingungscharakteristik werden die Rotationssteifigkeiten  $c_s$  und die Rotationsdämpfung  $d_s$  zum Beispiel aus folgender Gleichung

$$P = (ac_s + bd_s + e)^n$$

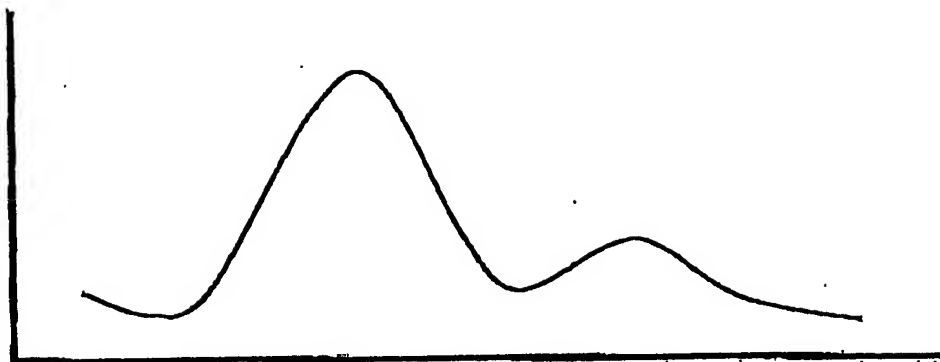
bestimmt, wobei  $a$ ,  $b$  und  $e$  Konstanten sind, und  $n$  zwischen 0,3 und 0,9 liegen muss. Das Ergebnis dieser Bestimmung ist Figur 7 entnehmbar.

Die durchgezogene Linie zeigt das normierte Amplitudenspektrum des Raddrehzahlgebers, die Strich-Punkt-Linie das Ergebnis des Modells. Der Reifenluftdruck  $p$  wird aus den ermittelten Werten von Steifigkeit und Dämpfung  $c_s$ ,  $d_s$  durch Anpassung der gerechneten Modellkurven an gemessenen Kurven als Funktion

5  $p = f(c_s, d_s)$  bestimmt.

Re/Be

normierte  
Amplitude

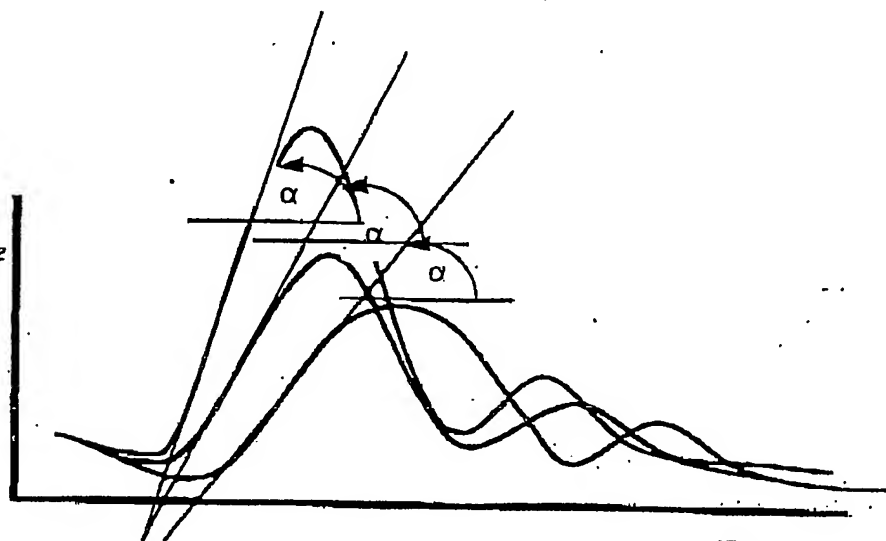


Frequenz

Fig. 1

203-084-PDE.1

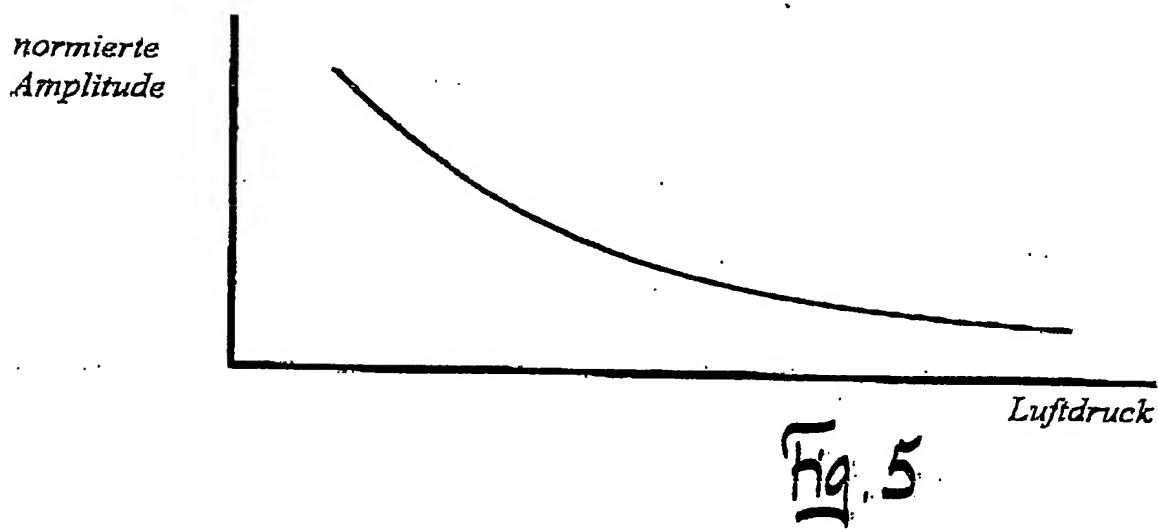
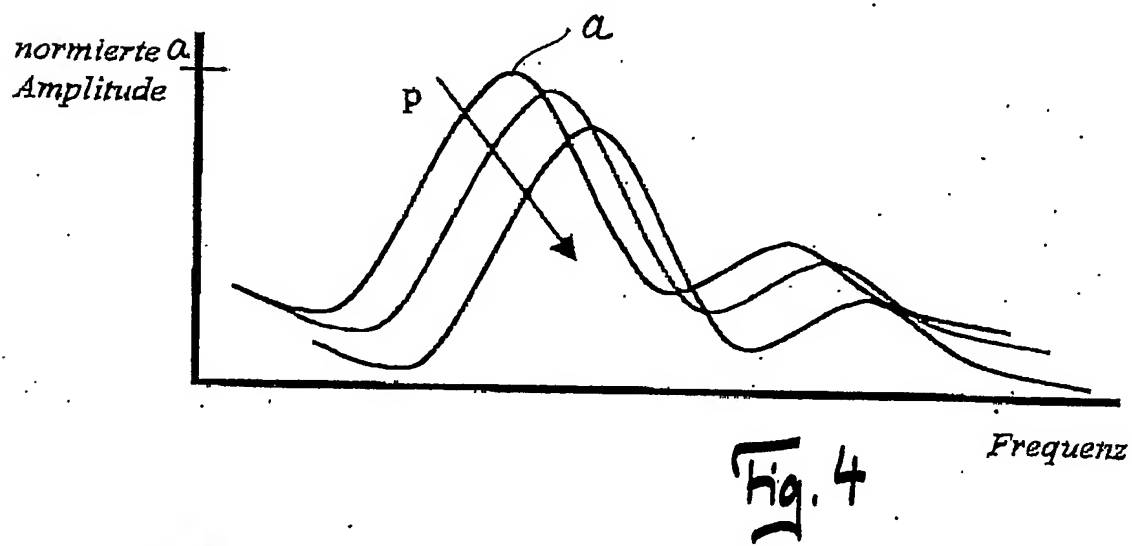
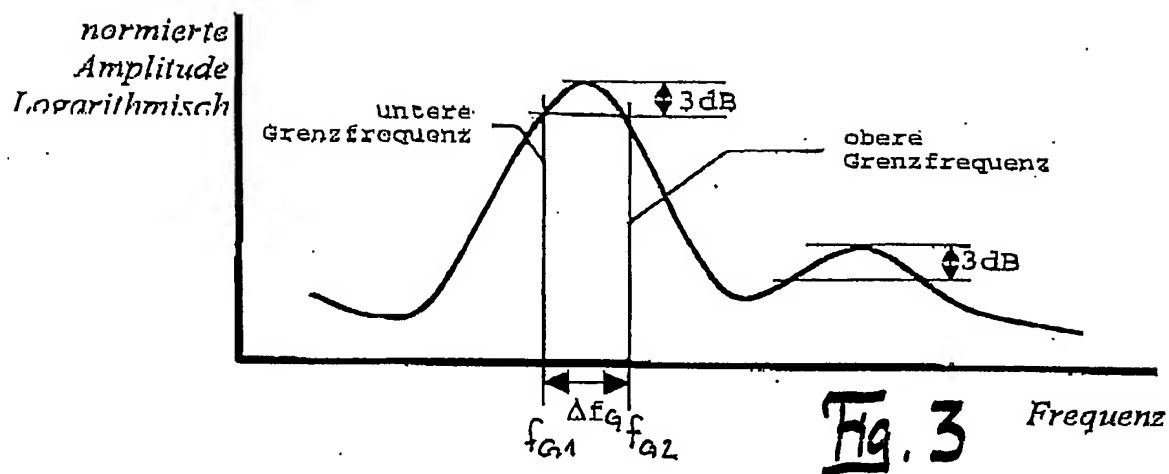
normierte  
Amplitude



Frequenz

Fig. 2





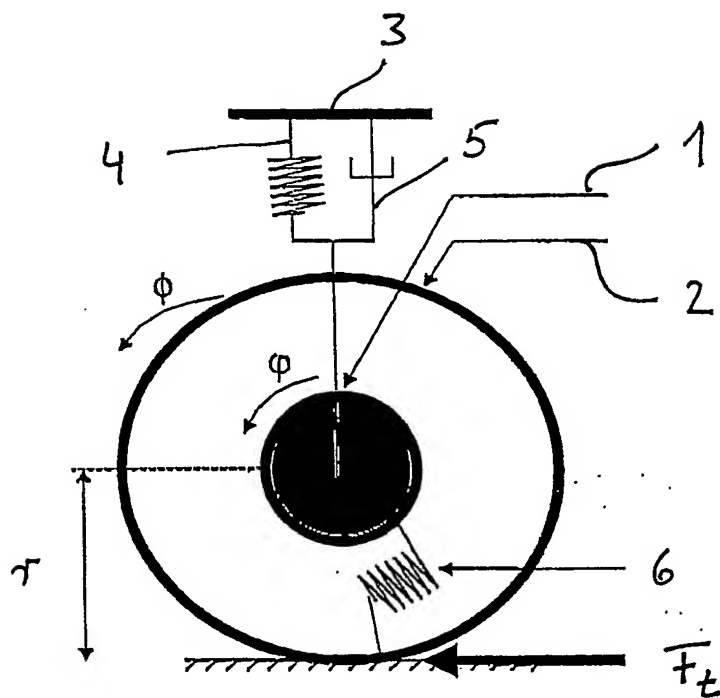


Fig. 6

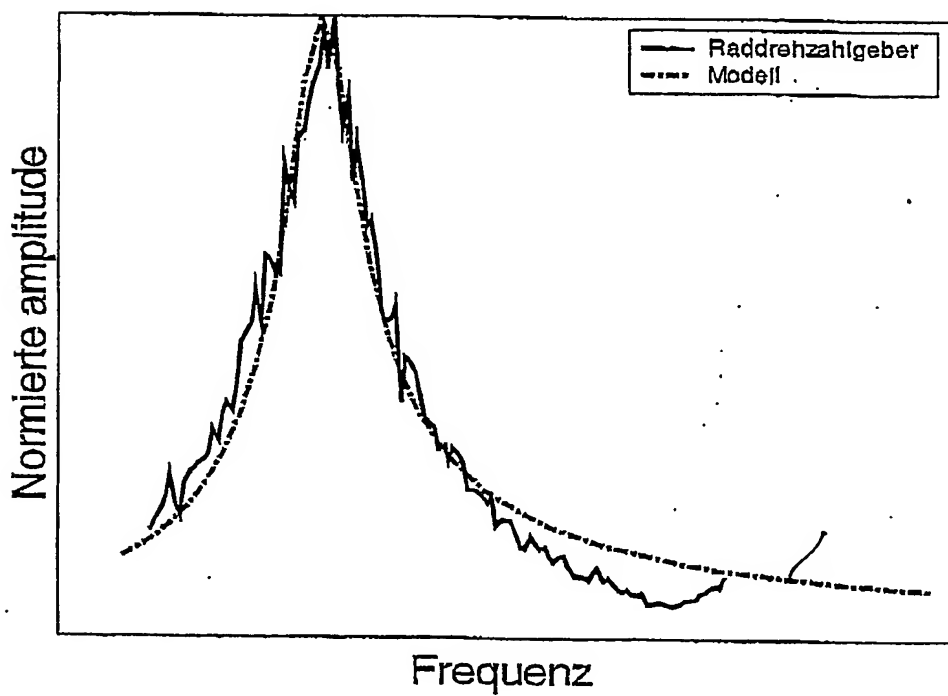


Fig. 7

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft verschiedene Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks, insbesondere des Minderdrucks des Reifens eines Kraftfahrzeuges im Fahrbetrieb, durch Analyse des Eigenschwingverhaltens des Rades, wobei aus dem 5. ermittelten Schwingungsspektrum die normierte Amplitude ermittelt wird und die Resonanzfrequenz beobachtet wird.